

ACCIAI INOSSIDABILI

L'acciaio inossidabile è meglio conosciuto con il nome di acciaio inox, che deriva dal francese 'inoydable'; ciononostante, la sua scoperta si deve all'inglese Harry Brearly di Sheffield: nel 1913, sperimentando acciai per canne di armi da fuoco, scoprì che un suo provino di acciaio con il 13-14% di cromo e con un tenore di carbonio relativamente alto (0,25%) non arrugginiva quando era esposto all'atmosfera. Successivamente questa proprietà venne spiegata con la passivazione del cromo, che forma sulla superficie una pellicola di ossido estremamente sottile, continua e stabile.

Da allora Acciaio inox o acciaio inossidabile è il nome dato correntemente agli acciai ad alto tenore di cromo, per la loro proprietà di non arrugginire se esposti all'aria e all'acqua: il cromo, ossidandosi a contatto con l'ossigeno, si trasforma in ossido di cromo (CrO₂) che aderisce al pezzo, impedendone un'ulteriore ossidazione (tale fenomeno è noto come passivazione).

Quella degli acciai inossidabili è un'ampia famiglia i cui componenti si distinguono secondo le diverse percentuali di elementi da cui sono formati. Come si può ben immaginare, diverse composizioni chimiche hanno come diretta conseguenza caratteristiche differenti che caratterizzano così i diversi tipi di acciai inossidabili. Gli acciai inox si dividono tradizionalmente, secondo la loro microstruttura, in tre grandi gruppi:

- Martensitici
- Ferritici
- Austenitici

Oltre ad essi esistono anche altri gruppi meno noti, il cui impiego è in forte ascesa, per impieghi specifici:

- gli austeno-ferritici o duplex
- gli indurenti per precipitazione
- Acciaio inox ad alta temperatura
- Acciaio inox superferritico
- Acciai da ultra alto vuoto e criogenia

Acciaio inox martensitico

Gli inossidabili martensitici sono leghe al cromo (dall'11 al 18% circa) con carbonio relativamente elevato, contenenti piccole quantità di altri elementi. Tipici elementi in essi presenti sono manganese, silicio, cromo e molibdeno; può essere aggiunto zolfo se si necessita di truciola-bilità (a scapito comunque delle caratteristiche meccaniche).

L'acciaio inox martensitico ha caratteristiche meccaniche molto elevate ed è ben lavorabile alle macchine, è l'unico acciaio inox che può prendere la tempra e pertanto aumentare le sue proprietà meccaniche (carico di rottura, carico di snervamento, durezza) mediante trattamento termico.

È conosciuto soprattutto con la nomenclatura americana: per esempio l'acciaio al solo cromo è l' AISI serie 400 (da ricordare AISI 410 e 420, con $0,20\% < C < 0,40\%$ e $Cr = 13\%$ circa; AISI 440 con $C = 1\%$ circa e $Cr = 17\%$); nella nomenclatura UNI ha sigle come X20Cr13, X30Cr13, X40Cr14. È magnetico. È anche conosciuto come acciaio "serie 00".

L'acciaio inossidabile martensitico è autotemprante, ma dalla temperatura di laminazione alla temperatura ambiente nasce una struttura troppo tensionata; si segue sempre quindi la procedura:

- ricottura di lavorabilità: essa è svolta col metodo isotermico solo quando si voglia la durezza minima; altrimenti si raffredda a velocità costante, scegliendola in base alla durezza che si vuole ottenere (vedi curve CCT);
- tempra a temperatura di circa 1000 °C e per un tempo sufficiente a sciogliere i carburi di cromo;
- rinvenimento a temperature diverse a seconda che si voglia privilegiare la durezza, la resistenza alla corrosione o la tenacità.

Gli acciai inossidabili martensitici sono utilizzati soprattutto per la loro elevata resistenza allo scorrimento viscoso, sebbene la loro formabilità e saldabilità sia estremamente difficoltosa e la loro resistenza alla corrosione sia minore rispetto a quella delle altre famiglie.

La resistenza alla corrosione non è eccezionale perché il cromo ha più basso tenore tra le categorie di acciai inox; inoltre perché la struttura martensitica ha un'alta densità di difetti reticolari e come tale è una struttura incrudita dunque più sensibile ai fenomeni corrosivi.

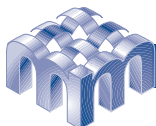
L'AISI 440 è utilizzato per l'utensileria inossidabile (coltello, forbice, bisturi, lametta, iniettore per motore a scoppio).

Acciaio inox ferritico

Come i precedenti, anche i gli acciai ferritici sono acciai inossidabili al solo cromo (variabile dall'11 al 30% circa).

Questi acciai (hanno buona resistenza meccanica ed alla corrosione. Hanno struttura cubica a corpo centrato come gli acciai al carbonio, ma non possono innalzare le loro caratteristiche meccaniche per mezzo di trattamenti termici.

Hanno un minor tenore di carbonio rispetto al martensitico. Un tipo particolarmente resistente al calore contiene il 26% di cromo. Altri elementi presenti sono il molibdeno, l'alluminio per aumentare la resistenza all'ossidazione a caldo, lo zolfo per facilitare la lavorabilità.



ACCIAI INOSSIDABILI

Il limite di snervamento è molto basso e, non potendosi fare trattamenti termici per l'assenza di punti critici, si esegue la ricristallizzazione o l'incrudimento. Si consiglia di non scaldarlo oltre gli 850 °C per non ingrossare il grano, e di non sostare tra i 400 e i 570 °C nel raffreddamento, per non incorrere nella fragilità al rinvenimento.

Le proprietà fondamentali sono: moderata resistenza alla corrosione, che aumenta con la percentuale di cromo nonché con la introduzione in lega del molibdeno; è magnetizzabile; non è temprabile ed è da usare sempre dopo ricottura; la saldabilità è scarsa, in quanto il materiale che viene surriscaldato subisce l'ingrossamento del grano cristallino a causa del cromo.

Gli impieghi più comuni sono vasellame o posateria di bassa qualità, acquai, lavelli e finiture per l'edilizia. In lamiere sottili si usano per rivestimenti, piastre per ponti navali, sfioratori, trasportatori a catena, estrattori di fumi e depolverizzatori

Acciaio inox austenitico

È un acciaio a struttura cubica a facce centrate, contenente Ni e Cr in percentuale tale da conservare la struttura austenica anche a temperatura ambiente. Viene classificato in base alla percentuale di Ni e di Cr (vedi tabella); nella classificazione ASTM costituisce la serie 3XX.

La composizione base dell'acciaio inox austenitico è il 18% di Cr e l'8% di Ni, codificata in 18/8 (AISI 304). Una percentuale del 2-3% di molibdeno permette la formazione di carburi di molibdeno migliori rispetto a quelli di cromo e assicura una miglior resistenza alla corrosione dei cloruri (come l'acqua di mare e di sali disgelanti)(acciaio 18/8/3) (AISI 316). Il contenuto di carbonio è basso (0,08% max di C), ma esistono anche acciai inox austenitici dolci (0,03% di C max). L'acciaio inox austenitico può essere stabilizzato con titanio o niobio per evitare una forma di corrosione nell'area delle saldature (vedi più avanti le debolezze di questo tipo di acciaio). Considerando la notevole percentuale di componenti pregiati (Ni, Cr, Ti, Nb, Ta), gli acciai inox austenitici sono fra i più costosi tra gli acciai di uso comune.

Le proprietà fondamentali sono:

- ottima resistenza alla corrosione;
- facilità di ripulitura e ottimo coefficiente igienico;
- facilmente lavorabile, forgiabile e saldabile;
- incrudibile se lavorato a freddo e non tramite trattamento termico;
- in condizione di totale ricottura non si magnetizza.

La loro struttura austenitica (con cristallo CFC) li rende immuni dalla transizione duttile-fragile (che si manifesta invece con la struttura ferritica, cristallo ccc), quindi conservano la loro tenacità fino a temperature criogeniche (He liquido). La dimensione dei grani, sensibilmente più elevata di quella degli acciai ferritici da costruzione, li rende resistenti allo scorrimento viscoso; di conseguenza fra gli acciai per costruzione di recipienti a pressione, sono quelli che possono essere utilizzati alle temperature più elevate (600 °C).

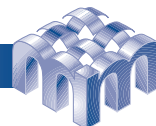
Dato che l'austenite è paramagnetica, questi acciai possono essere facilmente riconosciuti disponendo di magneti permanenti calibrati.

Gli impieghi di questi acciai sono molto vasti: pentole e servizi domestici, finiture architettoniche, mattatoi, fabbriche di birra, lattine per bibite e prodotti alimentari; serbatoi per gas liquefatti, scambiatori di calore, apparecchi di controllo dell'inquinamento e di estrazione di fumi, autoclavi industriali. La loro resistenza a gran parte degli aggressivi chimici li rende inoltre molto apprezzati nell'industria chimica. Lo stesso tipo di acciaio fu utilizzato nel 1929 per la costruzione della guglia del Chrysler Building di New York: la struttura fu costruita in officina in 4 tronconi separati e poi assemblati sulla cima della costruzione nel giro di 90 minuti. La lucentezza della guglia, a 80 anni dalla sua costruzione, testimonia l'altissimo grado di resistenza e di inossidabilità del Nirosta.

Gli acciai inox austenitici soffrono però di alcune limitazioni:

- la massima temperatura cui possono essere trattati è di 925 °C;
- a bassa temperatura la resistenza alla corrosione diminuisce drasticamente: gli acidi rompono il film di ossido e ciò provoca corrosione generica in questi acciai;
- nelle fessure e nelle zone protette la quantità di ossigeno può non essere sufficiente alla conservazione della pellicola di ossido, con conseguente corrosione interstiziale;
- gli ioni degli alogenuri, specie l'anione (Cl⁻), spezzano il film passivante sugli acciai inox austenitici e provocano la cosiddetta corrosione ad alveoli, definita in gergo pitting corrosion. Un altro effetto del cloro è la SCC (Stress Corrosion Cracking - rottura da tensocorrosione).

L'unico trattamento termico consigliabile per questa classe di acciai è un quello di solubilizzazione del C a 1050 °C, con raffreddamento rapido per evitare la permanenza nell'area fra 800 e 400 °C, dove può avvenire la precipitazione dei carburi di cromo. La precipitazione di questi carburi, che generalmente sono Cr₂₃C₆, implica un impoverimento locale di cromo che può scendere sotto il 12%, perdendo dunque le proprietà inossidabili. La conseguenza è la possibile insorgenza di corrosione per pitting.



Acciaio Duplex

Gli acciai austeno-ferritici, detti anche duplex, presentano una struttura mista di austenite e di ferrite. Si tratta di un acciaio al cromo ibrido: il tenore di cromo va dal 18 al 26% e quello di nichel dal 4,5 al 6,5%, quantità insufficienti per determinare una struttura microcristallina totalmente austenitica (che quindi rimane in parte ferritica). Quasi tutte le sue varianti contengono fra il 2,5 ed il 3% di molibdeno. Esistono inoltre forme di Duplex, chiamati "poveri" che non contengono molibdeno e hanno tenori di nickel minori del 4,5%.

Le proprietà fondamentali sono:

- struttura microcristallina peculiare nota come duplex, austenitica e ferritica, che conferisce più resistenza alle rotture per tensocorrosione;
- maggior grado di passivazione per il più alto tenore di cromo (e la presenza del molibdeno) e quindi miglior resistenza alla corrosione puntiforme (pitting) rispetto agli acciai 18-8;
- saldabilità e forgiabilità buone;
- alta resistenza a trazione ed allo snervamento.

Gli impieghi più comuni sono: scambiatori di calore, macchine per movimentazione dei materiali, serbatoi e vasche per liquidi ad alta concentrazione di cloro, refrigeratori ad acqua marina, dissalatori, impianti per salamoia alimentare ed acque sotterranee e ricche di sostanze aggressive.

Acciaio inox indurente per precipitazione

Questi acciai presentano la possibilità di innalzare notevolmente le proprie caratteristiche meccaniche per trattamenti termici particolari di invecchiamento, che consentono di far precipitare fasi intermetalliche dure nella matrice al fine di aumentare le proprietà meccaniche della lega. Inoltre questi acciai possiedono resistenza alla corrosione paragonabile a quella degli acciai austenitici classici, a parità di cromo e molibdeno.

Acciaio inox ad alta temperatura

Questi acciai inox sono stati messi a punto per operare ad elevata temperatura in condizioni ossidanti. La percentuale di cromo è del 24% ed il nichel va dal 14 al 22%. Le proprietà fondamentali sono resistenza all'ossidazione (sfaldatura) ad alta temperatura e buona resistenza meccanica alle alte temperature. Gli impieghi più comuni avvengono in parti di forni, tubi irradianti e rivestimenti di muffole, per temperature di esercizio fra 950 e 1100 °C.

Acciaio inox superferritico

È stato ideato per ridurre la suscettibilità alla corrosione alveolare ed alle rotture per tensocorrosione degli inox austenitici. Questi acciai dolci al cromo hanno due composizioni possibili: cromo 18% e molibdeno 2%, oppure cromo 26% e molibdeno 1%.

Le proprietà fondamentali sono le stesse degli acciai inox ferritici, con in più la resistenza alla corrosione alveolare ed alla rottura da tensocorrosione (SCC); saldabilità scarsa o discreta.

A causa della bassa saldabilità gli impieghi sono limitati a particolari saldati di meno di 5 mm di spessore. Sono utilizzati per pannelli e radiatori solari, tubi di scambiatori di calore e di condensatori, serbatoi per acqua calda e tubazioni di circolazione di salamoie nelle industrie alimentari.

Acciai da ultra alto vuoto e criogeni

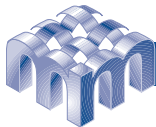
È un acciaio inox che col ferro, ha cromo, nichel, con tracce di silicio, carbonio, manganese, molibdeno, niobio e titanio, è utilizzato come costituente strutturale dell'ambiente da vuoto, ha il vantaggio di essere reperibile e relativamente economico, ha proprietà di resistenza meccanica abbastanza elevate, non si temprava, si salda con facilità, ha un basso degasaggio, è abbastanza inerte chimicamente.

Nomenclatura AISI

In commercio esistono vari tipi di acciai inox, conosciuti principalmente sotto la notazione di acciaio AISI (American Iron and Steel Institute, Istituto di unificazione statunitense per ferro ed acciaio).

La notazione AISI ha assunto erroneamente il significato di sinonimo per "acciaio inox", poiché tale istituto codifica anche tipi differenti di acciaio.

La notazione AISI individua l'acciaio inox attraverso una sigla a tre cifre con possibile aggiunta di una lettera.



la prima di queste cifre indica la classe dell'acciaio:

- serie 2XX - acciaio austenitico al cromo-nichel-manganese
- serie 3XX - acciaio austenitico al cromo-nichel e cromo-nichel-molibdeno
- serie 4XX - acciai ferritici o martensitici al cromo
- serie 5XX - acciaio martensitico al cromo medio
- serie 6XX - acciaio indurente per precipitazione al cromo

tra le lettere ad esempio:

- la lettera "L" indica la bassa percentuale di carbonio (Low Carbon) presente. Questa caratteristica fa sì che l'acciaio legghi meno gas, in quanto il carbonio tende, in qualsiasi condizione, a legarsi con l'idrogeno, precipitando idrocarburi; la presenza di idrogeno è spesso penalizzante per l'acciaio, ad alte temperature e soprattutto in condizione di ionizzazione (radiazioni ionizzanti). L'atomo di idrogeno ionizzato (H+) è molto piccolo e ad alta temperatura si sposta con maggiore facilità nel reticolo dell'acciaio, rischia di accumularsi e provocare pericolose discontinuità. Il basso tenore di carbonio consente anche una buona saldabilità anche per spessori > 6 mm.
- l'annotazione "N" sta ad indicare la presenza di azoto disciolto nella lega. Grazie alle sue proprietà di gas inerte (il legame azoto-azoto è triplo, gli atomi sono molto vicini tra loro e perciò si separano difficilmente), l'azoto funge da schermo sull'acciaio limitandone la contaminazione esterna.
- L'annotazione Ti sta ad indicare la presenza di titanio il quale assicura una completa resistenza alla corrosione nelle saldature di elementi di grosso spessore.

Sigle commerciali

I vari acciai inox differiscono in base alla percentuale in peso degli elementi costituenti la lega.

Tra gli acciai più comunemente utilizzati distinguiamo:

- 304 - Cr (18%) Ni (10%) C (0,05%);
- 304 L - (Low Carbon): Cr (18%) Ni (10%) C (< 0.03%);
- 316 - Cr (16%) Ni (11.3/13 %) Mo (2/3 %)
- 316 L - (Low Carbon): Cr (16,5/18,5%) Ni (10,5/13,5%) Mo (2/2,25%) C (< 0.03%);
- 316 LN - (Low Carbon Nitrogen) (presenza di azoto disciolto nel reticolo cristallino del materiale);
- 316 LN ESR (electro-slag remelting);
- 430: Cr (16/18 %) C (0,08%).

Questi materiali possono essere anche stabilizzati al titanio o al niobio come:

- 316 Ti
- 316 Nb
- 430 Ti.

La posizione del ferro all'interno della lega influenza diverse caratteristiche del materiale, di elevata importanza per il suo utilizzo.

La principale è la magneticità:

- nella disposizione a corpo centrato il materiale evidenzia proprietà ferritiche e perciò magnetiche;
- in quella a facce centrate l'acciaio è austenitico e perciò amagnetico.

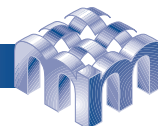
Come già accennato in precedenza, gli AISI 304 e 316 appartengono alla famiglia degli acciai a struttura austenitica mentre l'AISI 420 è a struttura martensitica.

La differenza tra l'acciaio 304 e 316, a parte il costo maggiore e la presenza nel 316 di Mo, è data dalla più elevata austenicità del secondo grazie alla più alta percentuale di nichel.

Sebbene questi acciai conservino la struttura austenitica, in alcuni casi restano nella massa "isole" che hanno una struttura ferritica, derivata dalla ferrite .

Nell'UV si necessita di una tipologia d'acciaio austenitico, poiché possiede una struttura molto legata e di conseguenza meno attaccabile chimicamente.

La presenza di metalli refrattari, come il molibdeno, aiuta a legare elettro-chimicamente gli atomi di ferro, conferendone maggiore inerzia e un grado di durezza superiore (circa 180 gradi Vickers).



ACCIAI INOSSIDABILI

L'acciaio austenitico permette di utilizzare la lega anche nell'UHV, poiché l'amagnetività strutturale le dona un'inerzia quasi totale alle interazioni "deboli" garantendo un vuoto più pulito.

La presenza di cromo, nonostante le sue caratteristiche ferriticizzanti, conferisce all'acciaio stabilità ed elasticità, garantendone così duttilità e malleabilità.

Resta comunque il fatto che, in questa tecnologia, l'acciaio più utilizzato sia quello austenitico.

La sua temperatura di fusione è di 1435 °C, tuttavia dobbiamo considerare che, durante la saldatura, nell'intervallo di temperatura tra i 600 e gli 800 °C, si trasforma, o meglio decade, da austenitico a ferritico (come indicato nel diagramma di sensibilizzazione di Schaeffler).

Il suo decadimento è più rapido e permanente per gli acciai 304 rispetto ai 316.

Periodo di sensibilizzazione:

- 304: 10 minuti;
- 304 L: 30 minuti;
- 316 L: un'ora.

Più esteso è questo periodo (la estensione è proporzionale alla presenza di nickel), più il materiale è affidabile.

Per ridurre ulteriormente il degasaggio della lega 316 si effettua il processo di electro slag remelting, in cui la stessa viene rifusa in un forno a radiofrequenze, in modo da eliminare le microscorie di ossidi e di carburi, che, oltre a "sporcare" il vuoto, la rendono più ferritica. Il 316 L N ESR, poiché molto costoso, viene utilizzato limitatamente e prevalentemente negli acceleratori di particelle.

L'acciaio è costituente delle camere da vuoto, delle flange e di eventuali altri elementi come bulloni e dadi; in ogni modo, una camera da vuoto in acciaio richiede ulteriori trattamenti finalizzati a diminuire il costante degasaggio di idrogeno dalle sue pareti. Uno dei principali è il vacuum firing, con il quale l'acciaio viene in primo luogo scaldato a 1400 °C e poi rapidamente raffreddato, per attraversare celermente la zona di sensibilizzazione senza decadere in ferritico. Così, oltre alla diminuzione della percentuale di azoto sulle superfici, si ottiene un aumento della sua austeniticità.

Le finiture superficiali:

Sia sui prodotti finiti di acciaieria, sia sui manufatti di acciai inossidabili lo stato superficiale ha un'elevata importanza ai fini non solo estetici, ma anche della resistenza intrinseca alla corrosione del materiale.

La resistenza alla corrosione in linea di massima sarà tanto più elevata quanto maggiore risulterà la levigatura della superficie, ossia quanto minore sarà la rugosità superficiale dell'elemento di acciaio inossidabile.

Oltre a questi fattori ne vanno considerati anche altri, quali ad esempio il legame che esiste tra la pulibilità e la maggiore o minore levigatezza di una superficie, fattore questo estremamente importante.

Alcuni tipi di finitura:

-finitura 2D: è la finitura mediante una laminazione a freddo, ottenuta per trattamento termico di ricottura e decapaggio; di aspetto opaco/mat, ma con fondo compatto

-finitura 2B: è la finitura mediante una laminazione pellicolare a freddo (skin pass) con cilindri lucidi. Il suo aspetto è grigio argenteo brillante ed è la finitura più diffusa per le lamiere laminate a freddo,

-finitura BA: è una finitura di lamiere e nastri laminati a freddo ottenuta per trattamento termico di ricottura, ricristallizzazione o solubilizzazione in atmosfera inerte dopo la laminazione e la successiva sgrassatura. Dato il tipo di trattamento termico, il materiale non viene ossidato e quindi non abbisogna dell'operazione di decapaggio, mantenendo così quell'aspetto molto lucido e brillante, quasi perfettamente speculare che gli deriva dalla laminazione a freddo. Segue un'eventuale, ulteriore laminazione skin pass.

- SATINATURA: smerigliatura a secco con nastri abrasivi aventi grana da 80 a 400, per usi estetici/architettonici

- SCOTCH BRITE: finitura dall'effetto vellutato ottenuto tramite spazzolatura con spazzole di tampico

- LUCIDATURA: finitura a specchio ottenuta con successiva smerigliatura a grana sempre più fine

utilizzando dischi di panno negli ultimi passaggi